

Evaluación *in situ* de aspersores para proponer escenarios de aprovechamiento de agua en el sistema de riego *K'aspicancha Kewiñajara* (Tiraque)

Daniel Vega ¹; Edwin Suzaño ²

¹Departamento de Ingeniería (FCAYP-UMMS); ² Centro AGUA (FCAYP - UMSS)

E mail: dvegabarbato@gmail.com

Resumen. La implementación de sistemas colectivos de riego por aspersión, es creciente en la región de los valles de Cochabamba, debido a la expectativa de lograr un mejor aprovechamiento del agua. Algunos estudios en el Valle Alto, donde se emplean equipos móviles de riego (EMRA's), reportaron valores muy bajos de uniformidad de riego (UD): 30% a 71%, indicador que afecta la eficiencia de uso de agua. Al respecto, un aspecto esencial es la selección de emisores, que habitualmente es realizada en base a valores de catálogos, sin comprobarse bajo condiciones locales de funcionamiento. La investigación presenta la evaluación *in situ* del desempeño de tres aspersores utilizados en un sistema representativo de los valles: *K'aspicancha Kewiñajara* en Tiraque. El método consistió en la determinación de la curva radial de descarga de cada aspersor, al aire libre y la simulación de espaciamientos con el programa computacional CATCH 3D[®]. Como resultado, se evidenciaron diferencias importantes en cuanto a caudal de descarga y radio de mojado efectivo del emisor, comparados con valores de catálogo. Asimismo, se determinaron espaciamientos para asegurar una buena uniformidad (UD>80%) con los que se proyectaron escenarios para un mejor aprovechamiento de agua, a nivel de usuario y de sistema.

Palabras clave: Equipo móvil de riego; Curva de descarga de aspersores; Simulación de espaciamientos; Uniformidad de riego.

Summary. On-site evaluation of sprinklers to propose water use scenarios in the irrigation system *K'aspicancha Kewiñajara* (Tiraque). The implementation of collective sprinkler irrigation systems is growing at Cochabamba valleys region, due to the expectation of a better use of water. Some studies in the Upper Valley, where mobile irrigation equipment (EMRA's) are used, reported very low values of irrigation uniformity (UD): 30% to 71%, an indicator that affects water use efficiency. In this regard, an essential step is the selection of emitters, which is usually carried out based on catalog values, without checking under local operating conditions. The research presents the on-site evaluation of the performance of three sprinklers used in a representative system of the valley: *K'aspicancha Kewiñajara* at Tiraque. The method consisted to determine the radial discharge curve of each sprinkler outdoors and simulating spacing with the CATCH 3D[®] computer program. As a result, important differences were evidenced in terms of discharge rate and effective wetting radius of the emitter, compared to catalog values. Likewise, spacing was determined to ensure a good uniformity (UD> 80%) with which scenarios were projected for a better use of water, at the user and system level.

Keywords: Mobile irrigation equipment; Sprinkler discharge curve; Spacing Simulation; Irrigation uniformity.

Introducción

Las iniciativas de implementación de riego por aspersión en Bolivia, han tenido un fuerte impulso en los últimos 15 años, a través de múltiples programas de inversión del Estado. Estos programas consideran un servicio de acompañamiento y asistencia técnica a usuarios, con el objetivo, entre otros, de promover una mejora en la eficiencia de uso del agua y en su aprovechamiento, según el potencial hídrico local.

En sistemas de riego presurizados, la evaluación de emisores (aspersores) bajo condiciones locales de funcionamiento, es un aspecto imprescindible para lograr un mejor aprovechamiento y una mayor eficiencia en el uso del agua. Estas evaluaciones, *in situ*, brindan información relevante para una adecuada selección y disposición de aspersores.

Un parámetro clave para la evaluación de sistemas de riego presurizados es la uniformidad de distribución (UD). Este parámetro es un indicador de la variación espacial con la que el agua es aplicada en la parcela, y constituye un factor que afecta la eficiencia de uso de agua.

En nuestro país, la información sistematizada sobre evaluación de aspersores en condiciones locales de funcionamiento, es escasa. Algunas investigaciones en sistemas colectivos de riego por aspersión, en la región del Valle Alto de Cochabamba, fueron promovidas por el Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA - UMSS). Estos sistemas se caracterizan principalmente por la irrigación en laderas, empleando equipos móviles de riego por aspersión (EMRA's), con emisores muchas veces modificados.

Al respecto, se reportaron valores de UD entre 42% y 71% con eficiencias de aplicación entre 37% y 71% en *Mishka Mayu* (Jiménez 2003); entre 47% a 62% con eficiencias de aplicación entre 17% y 48% en *Ch'ullku Mayu* (Hidalgo 2011), y UD entre 30% y 60% en *K'aspicancha Kewiñajara* (Solíz 2019), todos en el municipio de Tiraque. Asimismo, los mismos reportaron eventos de riego en exceso ("sobre riego"). Los valores de UD registrados se encuentran en un rango prácticamente inaceptable ($UD \leq 70\%$), con consecuentes valores bajos de eficiencia.

Entre los principales factores para este bajo desempeño del riego por aspersión en parcela, en los casos estudiados, se identifican a:

- i) la falta de conocimiento de los usuarios sobre el comportamiento hidráulico del sistema de distribución y de los emisores (relación caudal-presión).
- ii) las recomendaciones de emisores y disposición en el EMRA, por parte de técnicos del servicio de asistencia técnica, basados sólo en catálogos y sin pruebas de evaluación en campo.

El presente trabajo de investigación, presenta un análisis comparativo del desempeño de tres aspersores, utilizados actualmente en el sistema colectivo de riego *K'aspicancha Kewiñajara*, con el propósito de modelar diferentes espaciamientos (EMRA) tomando como indicador la UD.

Con la información y resultados a obtenerse, se busca proyectar mejores escenarios de reparto y aprovechamiento de agua en la zona de trabajo.

Materiales y métodos

El sistema de riego *K'aspicancha Kewiñajara* se localiza en la cuenca del río Pucara, provincia Tiraque del departamento de Cochabamba. El sistema se ubica entre las coordenadas 213142E, 8074066S y 214102E, 8076807S, zona 20K, a una altitud que varía entre 4240 y 3110 msnm, correspondiente al piso ecológico de puna (fuente de agua) y cabecera del valle (área de riego).

El clima de la zona se caracteriza por ser húmedo y frío. De acuerdo con información obtenida de la estación meteorológica de *K'aspicancha* (20K 212736E, 8076676S), para el periodo 2010-2017, la temperatura media anual alcanza los 9.2°C, con una media máxima de 17.3°C y una media mínima de 0.9°C, con frecuentes heladas en temporada invernal. La humedad relativa media es del 60% y la evapotranspiración media anual alcanza los 1150 mm. La precipitación media anual es de 600 mm, concentrada en el periodo de diciembre a marzo. La zona presenta corrientes de vientos con dirección variable, normalmente suaves (<20 km/h) con rachas fuertes (41 a 70 km/h) (Centro AGUA 2019).

El sistema de riego *K'aspicancha Kewiñajara* fue modernizado el año 2014. Este proceso consistió en un cambio de riego tradicional por superficie, a riego presurizado (aspersión). Si bien los usuarios contaban con una larga experiencia de riego, la tecnología de aspersión era completamente nueva para ellos. Los usuarios recibieron apoyo para auto gestionar el “nuevo” sistema, a través de un servicio de acompañamiento y asistencia técnica. Este apoyo fue valorado por los usuarios como insuficiente, hasta insatisfactorio, al punto que se produjo un pro-

ceso de aprendizaje de manera autodidacta por *acierto / error*.

El sistema *K'aspicancha Kewiñajara* tiene como fuentes de agua vertientes y escorrentía superficial, proveniente de una cuenca de aporte de alrededor de 764 ha (serranía *Juno*). Estas fuentes se almacenan y regulan en un embalse que si bien sólo tiene una capacidad de 0.473 hm³, permite disponer, en un año normal, de un volumen cercano a 0.788 hm³/año (C3B 2011). Un canal principal, con una capacidad de 90 l/s, conduce el agua desde la presa hasta la parte alta de la zona de riego. La red de distribución consta de ocho líneas bajantes de tubería de PVC (8, 4 y 3”) y tubería PEAD PN10 (63, 50, 40 y 32 mm). A lo largo de estas bajantes, denominadas localmente “PKs”, se encuentran distribuidos 224 hidrantes, para 270 usuarios, de las comunidades de *K'aspicancha*, *Kaspicancha Bajo* y *Kaspicancha Alto*.

El relieve de la zona es ondulado a escarpado, con pendientes entre 5% a 30%. Los suelos son de textura media a ligera. El área bajo riego del sistema alcanza 160 hectáreas, con una superficie bajo riego promedio, por usuario, alrededor de 0.6 ha. La lámina anual disponible para riego es alrededor de 500 mm/año, para un año normal. Esta dotación, sumada al aporte por lluvias, muestra que la condición de disponibilidad hídrica en el sistema no es deficitaria, salvo en el periodo de estiaje.

Durante el periodo de mayor demanda, septiembre a noviembre, se establece un sistema de turnos más controlado para el reparto del agua. El cupo de agua igualitario, en cada turno por usuario, fue establecido como el derecho a regar con un emisor *Rain Bird 30H-301BH* durante 4 días consecutivos (96 horas), cada 16

días. Esta definición imprecisa del derecho de agua, puesto que la descarga del emisor depende de la presión de funcionamiento, ocasionó con el tiempo, un descontento entre usuarios, que se acrecentó por modificaciones arbitrarias realizadas en los emisores por alguno de ellos (ensanche o remoción de boquillas). Por ello, alternativamente, se permitió emplear dos emisores *Senninger Xcel Wobbler* (“pollerita”). La autorización de uso de este último tipo de emisor, se basó en el requerimiento de un grupo de usuarios, quienes arguyeron la necesidad de prevenir daños en las flores por impacto de gotas, especialmente en el cultivo de arveja.

A nivel parcelario, se emplean equipos móviles de riego por aspersión (EM-RA’s), que constan de una tubería de 1” de diámetro y al menos 100 m de longi-

tud, con un elevador de PVC ¾” y con acople rápido de aluminio. Actualmente, alrededor del 90% de los usuarios, riegan con un aspersor *Rain Bird* y el resto lo hace con emisores *Xcel Wobbler*. Algunos pocos usuarios utilizan otro tipo de aspersores (Solíz 2019).

Los emisores de riego evaluados fueron:

(E1) **Senninger Xcel Wobbler**

(E2) **Rain Bird 30H-301BH**

(E3) **Rain Bird 30H-301BH** (modificado con alambre difusor de chorro)

todos dispuestos a una altura de 1 metro.

El Cuadro 1 detalla aspectos técnicos de los tres tipos de aspersores.

Cuadro 1. Características y especificaciones de los emisores evaluados, según catálogo (Fuente: www.senninger.com / www.rainbird.com)

Emisor	Descripción	Presión de funcionamiento (bar)		Caudal de descarga (l/s)		Radio efectivo (m)		
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
E1	<i>Xcel Wobbler-Senninger</i> Boquilla turquesa (#10) Ángulo alto (HA) (plástico)	0.69	1.72	0.14	0.22	6.8	8.2	
		<i>Baja presión</i>						
E2	<i>Rain Bird 30H-301BH*</i> 27°, 5.16 x 3.18 mm (bronce)	301BH	1.70	4.10	0.52	0.82	13.1	16.0
		30H	5.5	0.47	0.83	13.0	16.2	
		1.70	<i>Media presión</i>					
E3	<i>Rain Bird 30H-301BH*</i> 5.16 x 3.18 mm (bronce) modificado con alambre	Sin información						



Emisor E1



Emisor E2

* Uso de boquillas de mayor diámetro, correspondientes al modelo 301 BH, en el cuerpo del modelo 30H, para obtener un mayor caudal de descarga.

El trabajo se organizó en dos fases, *fase de campo* y *fase de gabinete*. La primera consistió en la determinación, al aire libre, de la curva radial de descarga de cada uno de los emisores evaluados, a una presión adecuada de funcionamiento, según especificaciones del emisor (Cuadro 1).

Las pruebas de descarga fueron realizadas en una parcela con una pendiente del 6%, en el área de influencia de la bajante PK8 (20K 212614E, 8075807S).

Los emisores, para su evaluación, se instalaron en un equipo móvil (EMRA) semejante al utilizado por los usuarios, a una altura de un metro. En el elevador, antes del aspersor, se instaló un manómetro clase 1.6 (6 bar), y una llave de regulación y otro manómetro a la salida del hidrante. Antes de iniciar la prueba de descarga, se reguló la presión hasta un valor recomendado para el emisor y se aforó el caudal del mismo, correspondiente a la presión de funcionamiento determinada (Figura 1).

La duración de cada prueba fue de al menos 60 minutos, tiempo en el que se registró frecuentemente la presión para verificar que no existan fluctuaciones. La información de velocidad y dirección del viento se tomó de la estación meteorológica de *K'aspicancha*. El patrón radial de

descarga de los emisores se registró en una red de pluviómetros dispuestos en cruz, a nivel del terreno y equidistantes a un metro, a partir de un punto central, determinado por el aspersor. El diámetro interno de los pluviómetros utilizados fue de 98 mm. Concluida la prueba, con ayuda de una probeta, se midieron los volúmenes colectados en cada pluviómetro.

La *fase de gabinete* consistió en el procesamiento de datos para determinar los patrones de descarga de los emisores, la simulación de traslapes y estimación de la uniformidad de distribución (UD) para diferentes espaciamientos. Esta tarea se realizó con ayuda del programa computacional CATCH 3D[®].

Resultados y discusión

Las presiones de operación fueron las recomendadas para cada emisor. El caudal aforado correspondió a las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante para E1 (0.20 l/s), y no así para E2 y E3. En estos últimos, se aforó un caudal superior al especificado para la presión de operación (2.9 bar), presumiblemente por la combinación de elementos de dos modelos diferentes de aspersor (híbrido: *30H-301 BH*), se esperaba un caudal de 0.69 l/s y se aforó 0.75 l/s (Cuadro 2).



Figura 1. Disposición de pluviómetros y aforo volumétrico del aspersor *Xcel Wobbler* (E1)

Cuadro 2. Datos generales de las pruebas de pluviometría

Asper- sor	Tiempo de prue- ba (min)	Presión de operación (bar)	Caudal aforado (l/s)	Radio efectivo (m)	Área de cobertura (m ²)	Pluviometría promedio (mm/h)
E1	65	1.40	0.20	10.0	100.0	2.3
E2	60	2.90	0.75	17.0	289.0	2.7
E3	60	2.90	0.75	14.0	196.0	5.2

En cuanto al radio efectivo, para el emisor E1, fue 30% superior, se esperaba un radio de 7.5 m y se verificó 10 m; debido al uso de un elevador con mayor altura (1 m) comparado con el catálogo (0.46 m).

En el caso del emisor E2, se verificó un radio efectivo de 17 m, algo superior al especificado en catálogo (15 m), también debido al uso de un elevador con mayor altura (1 m) comparado con el catálogo (0.76 m).

El emisor E3 no cuenta con datos referenciales de radio efectivo.

Las pruebas también demostraron una diferencia respecto a la pluviometría promedio, que se debe al tipo de emisor y a las modificaciones realizadas.

Particularmente, el uso de un alambre para interceptar el flujo de salida, ocasiona una reducción en el alcance efectivo y un sensible incremento en la pluviometría promedio del emisor, 2.7 mm/h para E2, comparado con 5.2 mm/h, para E3.

La discusión de los resultados se presenta en tres partes:

- a) Curva de descarga de los emisores, evaluada *in situ*;
- b) Simulación de traslapes y estimación de la uniformidad de distribución (UD)

c) Escenarios de reparto de agua y proyección del aprovechamiento de agua en el sistema *K'aspicancha Kewiñajara*.

a) Curva de descarga de los emisores, evaluada *in situ*

La prueba de pluviometría del emisor E1 mostró, para mismas posiciones, diferencias importantes entre radios (A, B, C y D) que se detectaron por los mayores valores de desviación estándar (DE) (Figura 2).

Estas diferencias se debieron al efecto del viento durante la prueba, ligeramente superiores a 1 m/s. La DE promedio fue 0.6 mm/h. Velocidades de viento mayores a 0.6 m/s, ocasionan distorsión en el patrón de distribución de la descarga de aspersores (Sánchez *et al.* 2011). El patrón de descarga del emisor fue cónico, semejante a un opérculo (Figura 2).

Las diferencias entre registros de mismas posiciones, a lo largo de los radios A, B, C y D, fueron mayores para E3 comparado con E2, DE promedio 1.1 mm/h y DE promedio 0.6 mm/h, respectivamente. Estas diferencias se debieron a vientos moderados durante la prueba con el emisor con alambre. Las desviaciones más notables se presentaron en el primer y último cuarto para E2 y la segunda mitad para E3 (figuras 3 y 4).

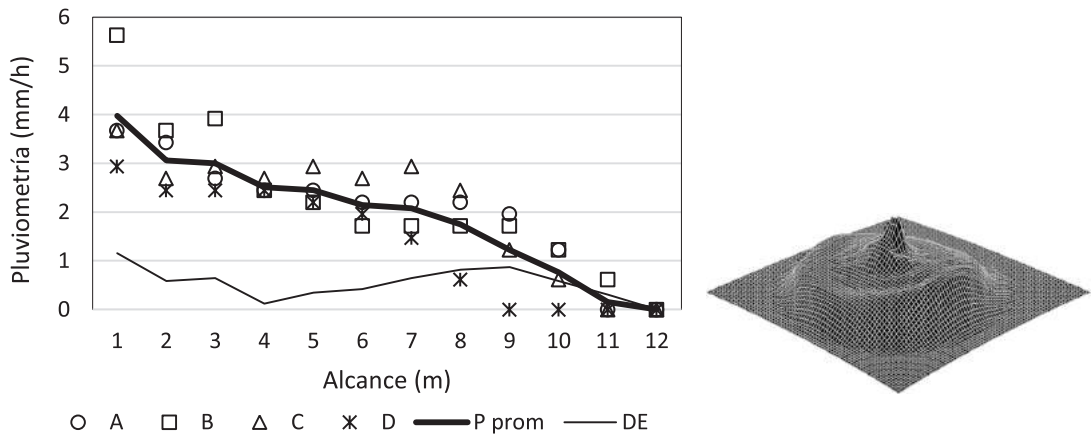


Figura 2. Valores de la prueba pluviométrica y distribución espacial (emisor E1)

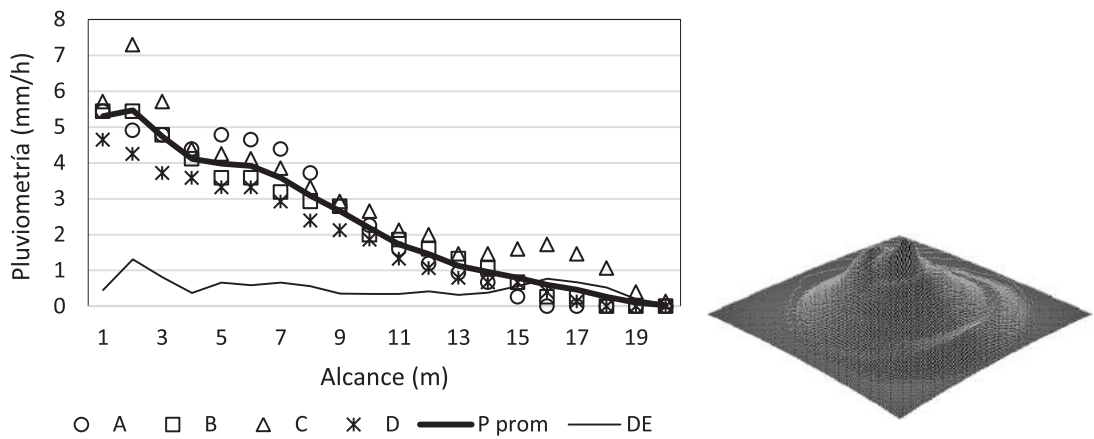


Figura 3. Valores de la prueba pluviométrica y distribución espacial (emisor E2)

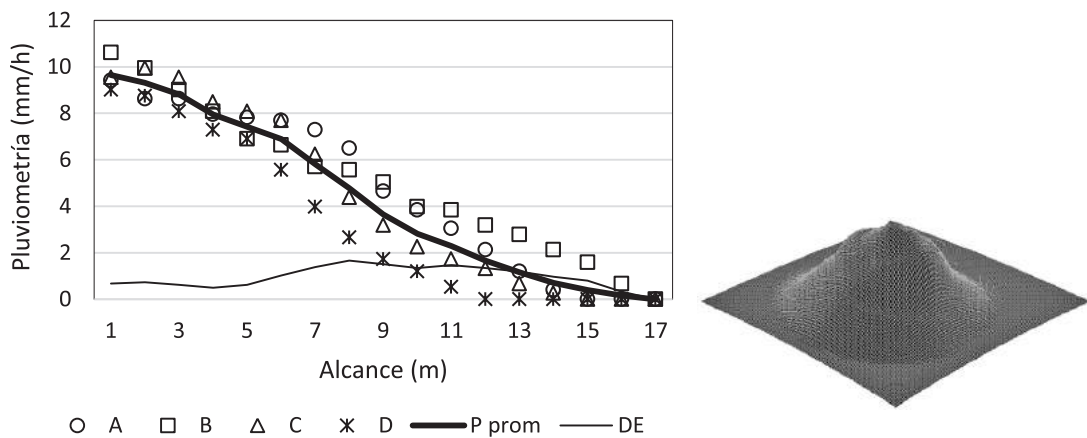


Figura 4. Valores de la prueba pluviométrica y distribución espacial (emisor E3)

Las pruebas de los emisores E2 y E3 mostraron, en ambos casos, una curva media de descarga que generó un patrón cónico, con la diferencia que para E3 la parte superior presentó un menor gradiente (cono acampanado) y un menor alcance, debido al uso de un alambre como difusor del chorro (figuras 3 y 4).

b) Simulación de traslapes y estimación de la uniformidad de distribución

A partir de los registros de las pruebas pluviométricas con emisores aislados, se realizaron simulaciones en el programa CATCH 3D[®], con el propósito de estimar valores de uniformidad de distribución (UD). Las simulaciones se realizaron para una disposición en cuadro, un emisor en cada vértice, y diferentes espaciamientos entre emisores y laterales (Cuadro 3). Se tomaron tres umbrales para la categorización de la uniformidad de distribución: *excelente* (UD > 90%), *buena o aceptable* (UD 90%-80%) y *regular* (UD 80%-70%).

Considerando como referencia una uniformidad de distribución excelente a buena y una pluviometría menor a 20 mm/h, recomendable para los suelos predominantes en *K'aspicancha*, la simulación mostró que el emisor E1 presenta un buen desempeño para espaciamientos entre 7 m y 12 m. Por su parte, los emisores E2 y E3 muestran buenas uniformidades para un segmento de espaciamiento mayor, entre 12 m y 20 m y entre 9 m y 17 m, respectivamente.

Los espaciamientos reducidos tienden a un incremento en la pluviometría, que permiten una disminución en el tiempo de riego por posición, pero, en terrenos de ladera, pueden incrementar el riesgo de erosión del suelo por escorrentía y una disminución en la eficiencia de uso del

agua para riego. A su vez, los espaciamientos mayores resultan en bajas uniformidades de distribución por un inadecuado traslape en las áreas mojadas.

Acorde a la práctica local de espaciamiento entre emisores, debido a los vientos existentes: “*un aspersor debe mojar el pie del otro*”, que corresponde a un espaciamiento entre emisores igual al radio efectivo (traslape igual al 50% del diámetro efectivo), y una uniformidad de distribución mayor al 80%, se optó por espaciamientos de 10 m * 10 m para E1; 17 m * 17 m para E2 y 14 m * 14 m para E3, para la proyección de alternativas de reparto y aprovechamiento de agua en el sistema *K'aspicancha Kewiñajara* (Figura 5).

c) Escenarios de reparto de agua y proyección del aprovechamiento de agua en el sistema K'aspicancha Kewiñajara

La proyección considera los resultados de la evaluación de emisores bajo condiciones locales *in situ*, el volumen de agua disponible (año normal), las preferencias de los usuarios y los derechos de agua establecidos en el sistema de riego colectivo *K'aspicancha Kewiñajara*. Al respecto, se estimó un cupo de agua igual a 259 m³/usuario/turno, según el derecho de agua establecido. Esta asignación se relacionó con el emisor de referencia: *Rain Bird 30H-301BH*, a una presión media de funcionamiento de 2.9 bar y un caudal de 0.75 l/s. Los escenarios generales de reparto de agua se presentan para dos situaciones: práctica actual y práctica alternativa. Estos escenarios se proyectaron tomando el requerimiento de riego para el periodo de máxima demanda, septiembre a octubre (4.5 mm/día), concordante con la frecuencia de riego actualmente establecida: 16 días (Cuadro 4).

Cuadro 3. Pluviometría y uniformidad de distribución estimados para diferentes espaciamientos

Emisor	Q (l/s)	P (bar)	Pluviometría media (mm/h) y espaciamiento (m)							
			5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	11x11	12x12
E1	0.20	1.4	28.8	20.0	14.7	11.3	8.9	7.2	6.0	5.0
		UD%	96.2	94.6	84.0	89.6	89.2	82.8	80.9	80.8
E2	0.75	2.9								18.8
		UD%								91.5
E3	0.75	2.9					33.3	27.0	22.3	18.8
		UD%					96.3	96.2	93.8	90.7

Emisor	Q (l/s)	P (bar)	Pluviometría media (mm/h) y espaciamiento (m)								
			13x13	14x14	15x15	16x16	17x17	18x18	19x19	20x20	21x21
E1	0.20	1.4	4.3	3.7	3.2						
		UD%	77.9	76.6	71.2						
E2	0.75	2.9	16.0	13.8	12.0	10.5	9.3	8.3	7.5	6.8	6.1
		UD%	92.7	94.1	92.0	89.2	87.2	85.8	84.8	83.0	79.2
E3	0.75	2.9	16.0	13.8	12.0	10.5	9.3	8.3	7.5	6.8	
		UD%	88.2	87.3	87.1	85.5	81.8	74.9	67.0	59.1	

UD>90%	UD>80- 90%	UD>70-80%
--------	------------	-----------

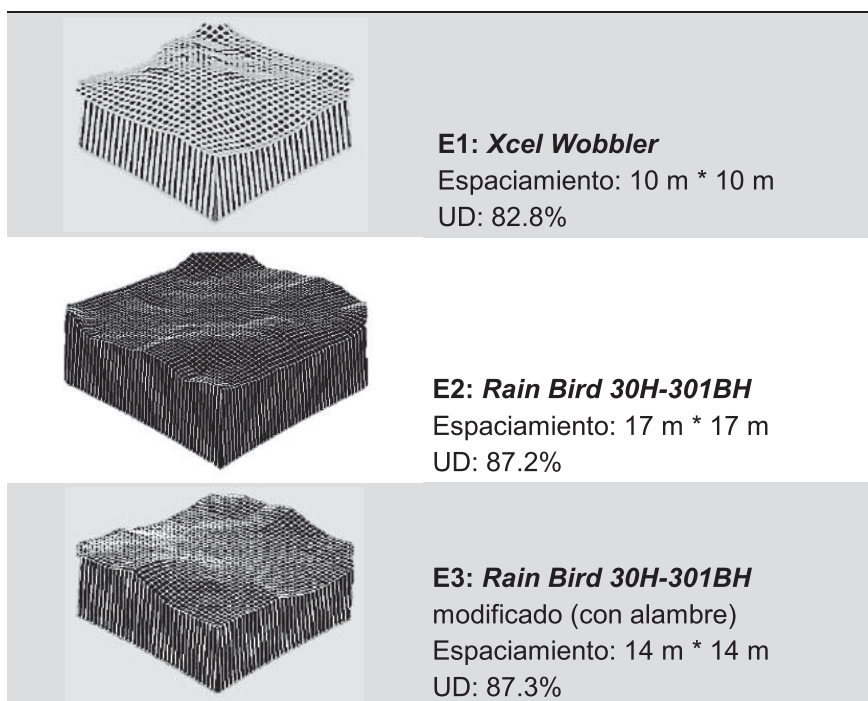


Figura 5. Perfiles de descarga y valores estimados de UD para los espaciamientos recomendados, según emisores evaluados

Cuadro 4. Esquema general de reparto de agua y fracción de uso de turno, según emisores y EMRA's

Cupo determinado por el derecho de agua: Volumen/usuario/turno (259 m³)					
Esquema general de reparto: Turno/usuario: 4 días / Frecuencia: 16.0 días / Caudal referencial asignado (0.75 l/s)					
Emisores y EMRA	Práctica actual			Práctica alternativa	
	E1_emra 1x2	E2_emra 1x1	E3_emra 1x1	E1_emra 1x4	E3_emra 1x1
Emisor	Xcel Wobbler	Rain bird 30H-307BH	Rain bird 30H-301BH	Xcel Wobbler	Rain bird 30H-307BH
Boquilla	3.97 mm (#10)	5.16 x 3.18 mm	5.16 x 3.18 mm	3.97 mm (#10)	5.16 x 3.18 mm
Modificación			alambre		alambre
Nº adoptado aspersores/EMRA	2	1	1	4	1
Caudal de descarga/emisor (l/s)	0.20	0.75	0.75	0.20	0.75
Presión de funcionamiento (bar)	1.40	2.90	2.90	1.40	2.90
Diámetro efectivo (m)	20	34	28	20	28
Espaciamiento, cuadro (m)	10x10	17x17	14x14	10x10	14x14
Tasa de aplicación (mm/h)	7.2	9.3	13.8	7.2	13.8
Uniformidad de distribución UD (%)	82.8	87.2	87.3	82.8	87.3
Caudal de demanda (l/s)	0.40	0.75	0.75	0.80	0.75
Tiempo de riego					
Lámina aplicada (mm)	74.00	74.00	103.32	74.00	74.00
Tiempo/posición (hora)	10.0	7.5	7.5	10.0	5.0
Número cambios calculado (EMRA)	9.6	12.8	12.8	9.6	19.2
Número cambios adoptado (EMRA)	9	12	12	9	18
Tiempo para cada cambio (min)	40	30	30	40	20
Área regada y volumen aplicado por usuario					
Área regada (m ²)	1800	3468	2352	3600	3528
Volumen aplicado (m ³ /turno)	130	243	243	259	243
Fracción de uso de turno (%)	50.0%	93.8%	93.8%	100.0%	93.8%

El escenario correspondiente a la “*Práctica Actual*” (Cuadro 4) muestra que los usuarios que emplean el E1_emra 1x2 (*Xcel Wobbler*) tienen limitaciones para aprovechar el cupo de agua disponible, según el derecho de agua. La fracción de uso del turno alcanza sólo al 50%, limitando significativamente el área regada. Esto explicaría el descontento de este grupo de usuarios que eventualmente incurren en prácticas para incrementar el caudal de descarga, como: cambio a boquillas de mayor diámetro o remoción de las mismas. No obstante, el menor riesgo de daño al cultivo en floración y el menor número de cambios del equipo, son puntos a favor.

Por su parte, los usuarios que emplean el E2_emra 1x1 (*Rain Bird*) o el E3_emra 1x1 (*Rain Bird modificado*), que son la mayoría, tiene la posibilidad de aprovechar prácticamente la totalidad del cupo de agua. La fracción de uso del turno supera el 90%, permitiendo casi duplicar el área regada en caso del E2_emra 1x1 (*Rain Bird*) respecto a E1_emra 1x2 (*Xcel Wobbler*). Sin embargo, en el caso del E3_emra 1x1 (*Rain Bird modificado*) tan sólo se logra el 70% del área regada potencial, debido a que el tiempo de riego por posición se mantiene (7.5 horas) a pesar de tener una mayor tasa de aplicación (13.8 mm/h). Esta práctica provoca que se riegue en exceso, alrededor de un 40% más de la dosis necesaria.

El escenario propuesto como “*Práctica Alternativa*”, muestra una mayor equidad entre grupos de usuarios, y una potencial mejora en el aprovechamiento del agua. La opción E1_emra 1x4 (*Xcel Wobbler*) posibilitaría al usuario aprovechar la totalidad del cupo de agua, con un consiguiente incremento en el área regada, al doble. Por su parte, la opción E3_emra 1x1 (*Rain Bird modificado*), que plantea

disminuir el tiempo de riego por posición, de 7.5 a 5 horas, conduce a un aprovechamiento más eficiente del agua, evitando la sobre irrigación y permitiendo incrementar el área regada.

Finalmente, se presenta una proyección de la superficie regada y el uso de agua a nivel de todo el sistema (Cuadro 5).

Esta proyección se realizó sobre la base de las opciones de emisores y EMRA’s presentadas, y de las condiciones actuales en el sistema *K’aspicancha Kewiñajara*:

i) 270 usuarios; usuarios con emisores Rain Bird (90%) y usuarios con *Xcel Wobbler* (10%).

ii) periodos diferenciados de requerimientos de agua para riego: julio-agosto: 70% de la demanda máxima (inicio de campaña agrícola), septiembre-noviembre: 100% de la demanda máxima (periodo de desarrollo de cultivos) y diciembre-junio: 30% de la demanda máxima (periodo de lluvias y maduración de cultivos).

iii) volumen anual disponible de agua: 0.788 hm³ (año normal).

Bajo el escenario de “*Práctica Actual*” E1_emra 1x2 / E2_emra 1x1 (10% / 90%) se alcanza a regar alrededor de 89 ha (3300 m²/usuario) y se estima que se deja sin uso el 21% del volumen de agua disponible (0.165 hm³).

El escenario de “*Práctica Alternativa*” plantea dos situaciones con resultados similares, en las que se observa un incremento en el área total regada, alrededor de 95 ha (~3500 m²/usuario) y un mayor aprovechamiento del volumen de agua disponible, dejándose una reserva de aproximadamente un 15% para eventualidades.

Cuadro 5. Proyección de uso de agua, según opciones emisores y EMRA's

	Práctica actual	Práctica alternativa	
	E1_emra 1x2 / E2_emra 1x1	E1_emra 1x4 / E2_emra 1x1	E1_emra 1x4 / E3_emra 1x1
	10% / 90%	10% / 90%	10% / 90%
Número de usuarios	270	270	270
Volumen estimado (hm ³):	0.63	0.66	0.66
jul-ago, 70% máx.	0.22	0.23	0.23
sep-nov, 100% máx.	0.31	0.33	0.33
dic-jun, 30% máx.	0.09	0.10	0.10
Área regada total (ha)	89	94	95
% Área regada	56%	59%	60%
% Uso volumen disponible	79%	84%	84%

A futuro, estas diferencias podrían acentuarse si se incrementa la proporción de usuarios que opten por el “esquema” E1_emra 1x2.

Conclusiones

- Las pruebas *in situ*, para la determinación de curvas de descarga de aspersores, mostraron diferencias relevantes en cuanto a caudal de descarga y radio efectivo de mojado, valores registrados en comparación con los de catálogo. Este resultado, previsible en parte, muestra la importancia de realizar estas pruebas para orientar a los usuarios en la selección de aspersores, y en la determinación de espaciamientos más acordes a las condiciones locales de funcionamiento. Concretamente, para el aspersor E1 (*Xcel Wobbler*), el radio efectivo registrado (10 m) fue superior en un 30% al valor de catálogo (7.5 m) y un caudal de descarga igual al dato del catálogo para una presión de funcionamiento de 1.4 bar (0.2 l/s).
- Respecto a los aspersores E2 y E3 (*Rain Bird*, sin y con alambre), se verificó un mayor caudal de descarga (0.75 l/s) comparado con el valor de catálogo para una presión de funcionamiento de 2.9 bar (0.69 l/s); y en cuanto al radio efectivo para E2, se obtuvo un valor superior en 10%, 17 m comparado con el valor de catálogo (15 m). Las diferencias en el alcance, tanto para E1 y E2, se deben al uso de un elevador de mayor altura, comparado con las referencias de catálogo.
- La simulación de traslapes con ayuda el software CATCH 3D[®], permitió identificar espaciamientos adecuados para los diferentes aspersores. Los espaciamientos recomendados para las condiciones locales de funcionamiento son: E1: 10x10 m, E2: 17x17 m y E3: 14x14 m, que aseguran una buena uniformidad de riego (>80%).

- En el caso del sistema de riego *K'aspicancha Kewiñajara* se muestra cómo el aspersor adoptado y su disposición en la línea de riego (EMRA), condicionan la posibilidad de aprovechamiento de agua a dos niveles: a nivel de usuario, puede limitar la posibilidad de un uso íntegro del cupo de agua, generando una incompatibilidad con la definición local del derecho de agua que puede ocasionar conflictos internos en situaciones de escasez hídrica; a nivel del sistema de riego, puede limitar el área regada y el uso del volumen disponible de agua.
- Específicamente, los esquemas propuestos como “Práctica Alternativa”, E1_emra 1x4 / E2_emra 1x1 y E1_emra 1x4 / E3_emra 1x1, posibilitan el uso equitativo del derecho de agua y un mayor aprovechamiento del volumen de agua disponible en el sistema, con un consecuente incremento en el área regada total (6%). Este incremento en promedio, a nivel de usuario, representa un incremento de 3300 m² a 3500 m².

Referencias citadas

- C3B. 2011. Estudio integral técnico, económico, social y ambiental (TESA). Estudio de riego tecnificado a nivel de diseño final para el sistema de riego *K'aspicancha*, Tiraque. 60 p.
- Hidalgo L. 2011. Evaluación del riego por aspersión en parcelas de ladera comunidad *Ch'ullku Mayu*, Municipio de Tiraque. Tesis de grado. FCAyP - UMSS. Cochabamba, Bolivia. 119 p.
- Jiménez J. 2003. Eficiencia de riego por aspersión en condiciones de ladera en la parte baja de la microcuenca de “Mishka Mayu”. Tesis de grado. FCAyP - UMSS. Cochabamba, Bolivia. 210 p.
- Sánchez I., Faci J., Zapata N. 2011. The effects of pressure, nozzle diameter and meteorological conditions on the performance of agricultural impact sprinkler. *Agricultural Water Management*. 102 (1):13-24
- Solíz E. 2019. Evaluación del desempeño de equipo móvil de riego por aspersión a nivel parcela en el sistema de riego *K'aspicancha Kewiñajara* en el municipio de Tiraque. Tesis de maestría. Posgrado FCAyP-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 127 p.

Trabajo recibido el 27 de noviembre de 2019 - Trabajo aceptado el 9 de diciembre de 2019